

## 明 細 書

### 熱処理装置及び熱処理方法

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、半導体ウエハ等の被処理体を熱処理する熱処理装置に関し、特に、被処理体の温度を熱モデルを用いて予想し、当該予想結果に基づいて熱処理の制御を行う熱処理装置及び熱処理方法に関する。

#### 背景技術

- [0002] 多数の半導体ウエハに対して成膜処理、酸化処理、拡散処理などの熱処理を一括して行うバッチ式熱処理装置として、横型熱処理装置や縦型熱処理装置が知られている。最近では、大気の巻き込みが少ない等の理由から、縦型熱処理装置が主流になりつつある。
- [0003] 熱処理装置は、処理温度、処理圧力、ガス流量などの処理条件をレシピに定められた目標値に一致させるように制御しながら、熱処理を行う。このような熱処理を適切に行うため、ウエハの温度、反応炉内の圧力、ガス流量などを測定する必要がある。
- [0004] 反応炉内の圧力は、圧力計により、比較的正確に測定が可能である。また、ガス流量は、供給管に配置された流量計を含むマスフローコントローラ等により、比較的正確に測定が可能である。しかし、ウエハの温度の測定は困難である。ウエハに温度センサを装着する手法も考えられるが、この場合、温度センサの装着箇所に半導体素子を形成することができない。さらに、温度センサからの不純物が反応炉内全体を汚染し、半導体装置の歩留まりを低下させる虞がある。
- [0005] この問題を解決するための技術が、例えば、特開2002-25997号公報及び米国特許第5,517,594号明細書に開示されている。この技術においては、反応炉に複数の温度センサが配置され、これらの温度センサの出力と反応炉を加熱するヒータへの供給電力などに関する熱モデル（数学モデル）に基づいてウエハの温度が刻一刻と予想され、当該予想値を用いて前

記ヒータへの供給電力が制御される。この技術によれば、ウエハの温度を比較的正確に非接触で予想して、当該予想値に基づいて熱処理装置を好適に制御することができる。

[0006] 従来、この種の熱処理装置においては、日本国特許出願公開公報第2002-25997号の図1に示されているように、処理容器内の高さ方向の温度の均一性を確保するため、反応管（反応炉）の側面にヒータが設けられる構成が一般的である。

[0007] 近時、半導体装置の多品種少量生産の要望が高まっている。この要望に併せて、小型の処理容器を備える（比較的少量のウエハを処理する）バッチ式縦型熱処理装置が開発されている。一方、処理対象のウエハの大型化が進んでいる。このため、処理容器の高さTに対する径Rの比が大きくなる傾向にある。

[0008] このような構成では、処理容器内の高さ方向の温度の均一性を確保することが困難であるという問題がある。このような問題を解決するため、処理容器内の上方部及び下方部に平面状のヒータ（上面ヒータ、下面ヒータ）を備えるバッチ式縦型熱処理装置が開発されている。

### 発明の要旨

[0009] しかし、このような熱処理装置においては、ウエハポートの上端部及び下端部に配置されたウエハWに関して、上面ヒータ及び下面ヒータをどのように制御するかによって、面内温度差及び面間温度差が生じて膜厚及び膜質が不均一になるおそれがある。

[0010] また、このような熱処理装置においては、ウエハポートの処理容器内へのロード時、及び、処理容器からのアンロード時、処理容器の内面温度が急激に変化する。このため、処理容器の内面に付着して層を成している反応生成物が剥がれ、所謂パーティクルを生じ得る。このパーティクルは、処理対象のウエハWに付着し、以後のプロセスに影響を与えるおそれがある。

[0011] 同様の問題は、半導体ウエハに限らず、様々な被処理体を処理する他の熱処理装置に共通する。

- [0012] 本発明は、このような事情の下に成されたものであり、よりの確に温度制御を行うことが可能な熱処理装置及び熱処理方法を提供することを目的とする。
- [0013] また、本発明は、被処理体の側方、上方及び下方にヒータを備え、熱モデルを用いて被処理体の温度を予想し、予想した温度に基づいて、熱処理を行う熱処理装置において、よりの確に温度制御を行うことが可能な熱処理装置及び熱処理方法を提供することを目的とする。
- [0014] また、本発明は、パーティクルの発生を抑制する熱処理装置及び熱処理方法を提供することを目的とする。
- [0015] 本発明は、被処理体を収容する処理容器と、前記被処理体を加熱する複数のヒータと、前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、を備え、前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることを特徴とする熱処理装置である。
- [0016] この構成によれば、被処理体以外の所定部位の温度をも制御対象とすることにより、被処理体の温度だけを制御対象とする場合に比して、処理容器内

の温度制御をよりの確に行うことができる。これにより、パーティクルの発生を抑えることもできる。

[0017] 例えば、前記複数のヒータのうちの1つとして、前記処理容器内に内部ヒータが配置されている場合、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記処理容器内の内部ヒータを含み得る。

[0018] あるいは、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記処理容器の内壁面の所定位置を含み得る。

[0019] あるいは、前記複数のヒータのうちの2つとして、前記処理容器内に收容される被処理体の上方部及び下方部に対応して、上部ヒータ及び下部ヒータが配置されている場合、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記上部ヒータ及び前記下部ヒータを含み得る。

[0020] この場合、好ましくは、前記処理容器の上方には、排気管が接続されており、前記上部ヒータは、前記排気管を取り巻くように配置される。

[0021] あるいは、前記複数のヒータのうちの2つとして、前記処理容器内に收容される被処理体の上方部及び下方部に対応して、上部ヒータ及び下部ヒータが配置されており、前記処理容器内に收容された前記被処理体と前記上部ヒータとの間に、前記複数の温度センサのうちの1つとして、上部温度センサが配置されている場合には、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記上部温度センサ及び前記下部ヒータを含み得る。

[0022] この場合も、好ましくは、前記処理容器の上方には、排気管が接続されており、前記上部ヒータは、前記排気管を取り巻くように配置される。

[0023] また、熱処理装置が、前記処理容器のガス導入口にガスを導入する手段と、前記処理容器のガス排出口からガスを排気する手段と、を更に備える場合、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記ガス導入口から前記ガス排出口に至る経路上の、前記ガス導入口から前記被処理体の最下流側の部位までの間に設定されることが好ましい。

[0024] また、前記熱モデルは、熱処理中の前記複数の温度センサの出力から、当該熱処理中の前記処理容器内に收容された前記被処理体の温度と前記処理容

器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度とを推定するように構成されており、前記レシピには、熱処理中の前記被処理体の所望の温度と前記所定部位の所望の温度とが規定されており、前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて熱処理中の前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された熱処理中の前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることが好ましい。

[0025] 更には、熱処理装置が、被処理体を前記処理容器内にロードすると共に処理済みの被処理体を当該処理容器からアンロードするロード／アンロード手段を更に備える場合には、前記熱モデルは、ロード中及び／またはアンロード中の前記複数の温度センサの出力から、当該ロード中及び／またはアンロード中の前記処理容器内に收容された前記被処理体の温度と前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度とを推定するように構成されており、前記レシピには、ロード中及び／またはアンロード中の前記被処理体の所望の温度と前記所定部位の所望の温度とが規定されており、前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いてロード中及び／またはアンロード中の前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定されたロード中及び／またはアンロード中の前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることが好ましい。

[0026] また、本発明は、被処理体を收容する処理容器と、前記被処理体を加熱する複数のヒータと、前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、を備えた熱処理装置を制御する熱処理方法であって、予め設定された熱モデルに前記複数の温度センサの出力を適用して、前記被処理体の温度と、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度と、を予想する予想工程と、前記予想工程にて予想された前記被処理体の

温度及び前記所定部位の温度を、予め規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度に一致させるべく、前記複数のヒータを制御する制御工程と、を備えたことを特徴とする方法である。

[0027] あるいは、本発明は、被処理体を収容する処理容器と、前記被処理体を加熱する複数のヒータと、前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、を備えた熱処理装置を制御するプログラムであって、予め設定された熱モデルに前記複数の温度センサの出力を適用して、前記被処理体の温度と、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度と、を予想する予想手順と、前記予想工程にて予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度を、予め規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度に一致させるべく、前記複数のヒータを制御する制御手順と、をコンピュータに実行させるプログラムである。

[0028] あるいは、本発明は、被処理体を収容する処理容器と、前記被処理体を加熱する複数のヒータと、前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、を備えた熱処理装置を制御するプログラムであって、予め設定された熱モデルに前記複数の温度センサの出力を適用して、前記被処理体の温度と、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度と、を予想する予想手順と、前記予想工程にて予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度を、予め規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度に一致させるべく、前記複数のヒータを制御する制御手順と、をコンピュータに実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

[0029] あるいは、本発明は、被処理体を収容する処理容器と、前記被処理体を加熱する複数のヒータと、前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、を備えた熱処理装置を制御する制御装置であって、前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、前記複数の温度センサの出力と前

記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、を備え、前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に收容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることを特徴とする制御装置である。

[0030] 前記制御装置または前記制御装置の各構成要素は、コンピュータシステムによって実現され得る。コンピュータシステムに前記制御装置または前記制御装置の各構成要素を実現させるためのプログラム及び当該プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体も、本件の保護対象である。

[0031] さらに、前記制御装置または前記制御装置の各構成要素が、コンピュータシステム上で動作するOS等のプログラムによって実現される場合、当該OS等のプログラムを制御する各種命令を含むプログラム及び当該プログラムを記録した記録媒体も、本件の保護対象である。

[0032] ここで、記録媒体とは、フロッピーディスク等の単体として認識できるものの他、各種信号を伝搬させるネットワークをも含む。

### 図面の簡単な説明

[0033] [図1]は、本発明の一実施の形態に係る熱処理装置の構成を示す図である。

[図2]は、図1の熱処理装置の制御部の構成を示す図である。

[図3A]は、図2の熱モデル記憶部に記憶されるデータの例を示す図である。

[図3B]は、図2のレシピ記憶部に記憶されるデータの例を示す図である。

[図4]は、下面ヒータの温度測定位置を説明するための斜視図である。

[図5]は、セットアップレシピの一例を示す図である。

[図6]は、プロセスレシピの一例を示す図である。

[図7]は、温度測定装置の構成例を示す概略図である。

[図8]は、温度測定装置の腕部がポート内に挿入された状態を示す概略縦断面図である。

[図9]は、基準熱モデルを校正して校正熱モデルを生成する手順を説明するためのフローチャートである。

[図10]は、セットアップレシピの各設定温度について、基準熱モデルによる予想温度と実測温度とが対応付けて記憶される様子を示す図である。

[図11]は、基準熱モデルに対する補正量について説明するための図である。

[図12A]は、ロード時の処理手順を示すフローチャートである。

[図12B]は、アンロード時の処理手順を示すフローチャートである。

[図13]は、成膜プロセス処理の一例を説明するためのフローチャートである。

### 発明を実施するための最良の形態

[0034] 以下、添付の図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明する。

[0035] 本実施の形態に係る縦型の熱処理装置 1 は、図 1 に示すように、処理容器（反応管） 11 を備える。処理容器 11 は、被処理体としてのウエハ W を収容して、当該ウエハ W に所定の熱処理、例えば CVD 処理、を施すようになっている。処理容器 11 は、耐熱性および耐食性を有する材料、例えば石英ガラス、により形成されている。処理容器 11 は、上端と下端とが開放された単管構造を有し、上端部は細径に絞られて排気部 12 を形成している。排気部 12 は、図示せぬ排気管などを介して、真空ポンプ等に接続されている。

[0036] 処理容器 11 の下部には、処理容器 11 内に処理ガスや不活性ガスを導入するためのガス導入部（導入ポート） 13 が配置されている。ガス導入部 13 には、ガス源に通じる複数のガス供給系の配管 14 が挿通されている。ガス導入部 13 から導入される処理ガスは、処理容器 11 内を上昇してウエハ



Wの所定の熱処理に供された後、排気部 1 2 から排気される。

- [0037] 処理容器 1 1 の下端部は、フランジ状に形成されている。当該下端部 1 5 は、ステンレス等の耐熱性および耐食性を有する材料から形成された蓋体 2 1 により開閉される。蓋体 2 1 は、図示せぬエレベータにより昇降される。蓋体 2 1 は、上昇位置で、処理容器 1 1 の下端部 1 5 を密閉し、下降位置で、処理容器 1 1 の下端部 1 5 を開放する。
- [0038] 処理容器 1 1 の下端部 1 5 と蓋体 2 1 との間には、気密を確保するためのリング 2 2 が配置されている。
- [0039] 蓋体 2 1 の中央部には、回転支柱 2 3 が回転可能に立設されている。回転支柱 2 3 の上端には、回転テーブル 2 4 が固定されている。
- [0040] また、蓋体 2 1 の下部には、回転支柱 2 3 を回転駆動する駆動部 2 5 が設けられている。
- [0041] 回転テーブル 2 4 の上には、例えば 6 0 枚の半導体ウエハ W を高さ方向に所定間隔で搭載可能な石英ガラス製のポート（ウエハポート） 2 6 が載置される。ポート 2 6 は、蓋体 2 1 が降下された状態において回転テーブル 2 4 上に載置される。その後、蓋体 2 1 が上昇されて処理容器 1 1 の下端部 1 5 を密閉する時、処理容器 1 1 内へのポート 2 6 のロードが完了する。熱処理が完了した後、蓋体 2 1 が降下されて、ポート 2 6 がアンロードされる。また、熱処理中は、駆動部 2 5 によって回転テーブル 2 4 が回転させられるため、ウエハ W は均一に熱処理される。
- [0042] 処理容器 1 1 の周囲には、処理容器 1 1 内に收容されたウエハ W をその周縁部から加熱昇温させるための周面ヒータ 3 1 が配置されている。周面ヒータ 3 1 は、処理容器 1 1 の周囲を取り囲むように鉛直方向の筒状に配設されている。周面ヒータ 3 1 は、例えば複数の棒状の抵抗発熱体から構成される。本実施の形態の周面ヒータ 3 1 は、処理容器 1 1 の周面全体を加熱するメインヒータ 3 1 a と、処理容器 1 1 の上端側の周面を加熱する上端サブヒータ 3 1 b と、処理容器 1 1 の下端側の周面を加熱する下端サブヒータ 3 1 c と、から構成され、メインヒータ 3 1 a とサブヒータ 3 1 b、3 1 c とが、

処理容器 1 1 の周方向に交互に配置されている。

[0043] 処理容器 1 1 の上方には、上面ヒータ 3 2 が設けられている。

[0044] 上面ヒータ 3 2 は、排気部 1 2 の周囲にドーナツ状に形成され、支持部材 3 4 により処理容器 1 1 に固定されている。これにより、上面ヒータ 3 2 は、処理容器 1 1 の排気部 1 2 からの放熱によるウエハ W の温度の低下を防ぐ。

[0045] 処理容器 1 1 の下方には、下面ヒータ 3 3 が設けられている。

[0046] 下面ヒータ 3 3 は、処理容器 1 1 内の回転テーブル 2 4 の下方に配置され、支持部材 3 5 により蓋体 2 1 上に固定されている。下面ヒータ 3 3 は、その中央部を回転支柱 2 3 が貫通するように、ドーナツ状に形成されている。これにより、下面ヒータ 3 3 は、蓋体 2 1 等を介した放熱によりウエハ W の温度が低下するのを防止する。

[0047] 処理容器 1 1 の外周面には、鉛直方向に一系列に、3 つの温度センサ S 1 ～ S 3 が配置されている。温度センサ S 1 はポート 2 6 の上部に対応する位置に、温度センサ S 2 はポート 2 6 の中央部に対応する位置に、温度センサ S 3 はポート 2 6 の下部に対応する位置に、それぞれ配置されている。

[0048] また、処理容器 1 1 内の上面ヒータ 3 2 とポート 2 6 の上端面との間の位置に、温度センサ S 4 が配置されている。また、処理容器 1 1 内の下面ヒータ 3 3 と回転テーブル 2 4 との間の位置に、温度センサ S 5 が配置されている。温度センサ S 4 と S 5 とは、処理容器 1 1 内の金属汚染の発生を防止するため、例えば、石英チューブに収納されている。

[0049] 温度センサ S 1 ～ S 5 の出力（検出温度）は、後述するように、ポート 2 6 に載置されたウエハ W、上面ヒータ 3 2 および下面ヒータ 3 3 の各表面温度を予想（推定；予測）するために使用される。

[0050] 熱処理装置 1 は、装置全体の制御を行う制御部 1 0 0 を備えている。

[0051] 図 2 に示すように、制御部 1 0 0 には、温度センサ S 1 ～ S 5、操作パネル 1 2 1、圧力計（群） 1 2 2、ヒータコントローラ 1 2 3、マスフローコントローラ 1 2 4、弁開閉制御部 1 2 5、真空ポンプ 1 2 6、ポートエレベ

ータ１２７等が接続されている。

- [0052] 温度センサＳ１～Ｓ３は、処理容器１１の外壁面の温度を測定して、制御部１００に通知する。温度センサＳ４は、上面ヒータ３２近傍の温度を測定して、制御部１００に通知する。温度センサＳ５は、下面ヒータ３３近傍の温度を測定して、制御部１００に通知する。
- [0053] 操作パネル１２１は、表示画面と操作ボタンとを備える。操作ボタンを介して、オペレータの操作及び／または指示が制御部１００に伝えられる。また、制御部１００からの様々な情報が、表示画面に表示される。
- [0054] 圧力計（群）１２２は、処理容器１１内及び排気部１２内の各部の圧力を測定し、測定値を制御部１００に通知する。
- [0055] ヒータコントローラ１２３は、ヒータ３１ａ、３１ｂ、３１ｃ、３２、３３を個別に制御する。具体的には、ヒータコントローラ１２３は、制御部１００からの指示に応答して、ヒータ３１ａ、３１ｂ、３１ｃ、３２、３３に通電してこれらを加熱する。また、ヒータコントローラ１２３は、各ヒータ３１ａ、３１ｂ、３１ｃ、３２、３３の消費電力を個別に測定して、測定値を制御部１００に通知する。
- [0056] マスフローコントローラ１２４は、各配管に配置され、各配管を流れるガスの流量を制御部１００から指示された量に制御する。また、マスフローコントローラ１２４は、実際に流れたガスの流量を測定して、測定値を制御部１００に通知する。
- [0057] 弁開閉制御部１２５は、各配管に配置され、各配管に配置された弁の開度を制御部１００から指示された値に制御する。
- [0058] 真空ポンプ１２６は、処理容器１１の排気部１２に排気パイプ等を介して接続され、処理容器１１内のガスを排気する。
- [0059] ポートエレベータ１２７は、蓋体２１を上昇させることにより、回転テーブル２４上に載置されたポート２６を処理容器１１内にロードし、蓋体２１を下降させることにより、回転テーブル２４上に載置されたポート２６を処理容器１１からアンロードする。

- [0060] 制御部 100 は、図 2 に示すように、熱モデル記憶部 111 と、レシピ記憶部 112 と、ROM 113 と、RAM 114 と、I/Oポート 115 と、CPU 116 と、これらを相互に接続するバス 117 と、から構成される。
- [0061] 熱モデル記憶部 111 には、図 3 A に示すように、熱処理装置 1 と同一仕様の基準装置を用いて作成された基準熱モデル M1 と、基準熱モデル M1 を熱処理装置 1 用に校正（カスタマイズ）して生成された校正熱モデル M2 と、が記憶される。熱処理装置 1 の製造当初は、基準熱モデル M1 のみが熱モデル記憶部 111 に記憶されている。熱処理装置 1 のセットアップ処理により、基準熱モデル M1 を修正して校正熱モデル M2 が生成されて、これが熱モデル記憶部 111 に格納される。
- [0062] 基準熱モデル M1 と校正熱モデル M2 とは、共に、温度センサ S1～S5 の出力信号（測定温度）及びヒータ 31a～33 への供給電力（ヒータ 31a～33 に接続されたヒータコントローラ 123 からの供給電力量を示す指示値）等から処理容器 11 内の温度を予想するためのモデル（数学モデル；高次・多次元行列）である。ただし、基準熱モデル M1 は、基準装置を用いて生成されたものであり、同一仕様の複数の熱処理装置 1 に共通のものである。一方、校正熱モデル M2 は、各熱処理装置 1 のセットアップ時に、個々の装置の熱特性が正確に反映されるように生成されたものであり、実際の運用（プロセス処理）に使用されるものである。
- [0063] より詳細には、基準熱モデル M1 は、温度センサ S1～S5 の出力信号（測定温度）及びヒータ 31a～33 への供給電力等から、ポート 26 の上部に載置されているウエハ（ポート上部ウエハ）W の中心部 P1 および周縁部 P2 の温度、ポート 26 の中央部に載置されているウエハ（ポート中央部ウエハ）W の中心部 P3 の温度、ポート 26 の下部に載置されているウエハ（ポート下部ウエハ）W の中心部 P4 および周縁部 P5 の温度（計 5 箇所の温度）と、ポート 26 の上に配置されている温度センサ S4 の温度、下面ヒータ 33 上の 2 点 P6、P7 の温度、及び、処理容器 11 の側壁の内面上の所定位置 P8、P9（図 1）の温度、を予想する。

- [0064] なお、ボート中央部ウエハWについて周縁部の温度が測定されないのは、ボート26の中央部は熱的に安定した領域であり、ウエハWの中心部P3と周縁部との温度差がほとんど生じなからである。すなわち、中心部P3の温度のみで、ボート中央部ウエハW全体の温度を代表できる。
- [0065] 下面ヒータ33上の温度測定位置P6及びP7は、図4に示すように、ドーナツ状の下面ヒータ33の中心点に対して点対象の位置にある。
- [0066] また、処理容器11の側壁の内面上の位置P8とP9とは、それぞれ、処理容器11の側壁の上端と下端間の上ほぼ1/3の位置、下ほぼ1/3の位置である。
- [0067] また、基準熱モデルM1は、予想した10箇所（位置P1～P9及びセンサS4）の温度に基いて、それらの温度をレシピで規定される温度（目標値）に一致させるために、各ヒータ31a、31b、31c、32、33に供給すべき電力を求める。なお、基準熱モデルM1を生成する手法は、例えば、米国特許第5,517,594号公報などに開示されている。
- [0068] 校正熱モデルM2は、熱処理装置1に固有の熱特性に従って正確に各部の温度を推定することができるようにカスタマイズされたものである点以外は、基準熱モデルM1と同一構造である。
- [0069] 図2のレシピ記憶部112には、図3Bに示すように、セットアップ用レシピR1と複数のプロセス用レシピR2とが記憶されている。
- [0070] 熱処理装置1の製造当初は、セットアップ用レシピR1のみが格納される。セットアップ用レシピR1は、熱処理装置1の基準熱モデルM1を校正して校正熱モデルM2を生成する際に実行されるものである。セットアップ用レシピR1は、図5に示すように、温度測定位置P1～P9及びセンサS4の温度を時間に対して階段状に昇温することを規定する。また、セットアップ用レシピR1は、処理容器11内の圧力、処理容器内へ供給されるガスの種類とガス流量、ガスの供給開始タイミング・停止タイミングなどを規定する。
- [0071] 一方、プロセス用レシピR2は、ユーザが実際に行う熱処理（プロセス）

毎に用意されるレシピである。本実施の形態のプロセス用レシピR 2は、図6に示すように、処理容器11への半導体ウエハWのロードから処理済みのウエハWのアンロードまでの、各部の温度の変化、処理容器11内の圧力変化、処理ガスの供給の開始及び停止のタイミング、処理ガスの供給量などを規定する。

[0072] なお、プロセス用レシピR 2は、各プロセスに関して、ウエハWの温度測定位置P 1～P 5の温度、温度センサS 4の温度、下面ヒータ33の温度測定位置P 6、P 7の温度、処理容器11の側壁内面の温度測定位置P 8、P 9の温度、の変化を規定する。

[0073] 熱処理装置1の制御部100は、温度センサS 1～S 5の測定温度、ヒータコントローラ123から各ヒータへ供給される供給電力などの情報に基づいて、ウエハW上の温度測定位置P 1～P 5の温度を予想し、予想した温度がプロセス用レシピR 2が規定する温度に一致するように、ヒータ31a～33を制御する。さらに、制御部100は、温度センサS 1～S 5の測定温度、ヒータコントローラ123から各ヒータへ供給される供給電力などの情報に基づいて、温度センサS 4の温度と下面ヒータ33の温度測定位置P 6、P 7の温度と処理容器11の側壁内面の温度測定位置P 8、P 9の温度とを予想し、予想した温度がプロセス用レシピR 2が規定する温度に一致するように、ヒータ31a～33を制御する。

[0074] 図2に示すROM 113は、EEPROM、フラッシュメモリ、ハードディスクなどから構成され、CPU 116の動作プログラム等を記憶する記録媒体である。RAM 114は、CPU 116のワークエリアなどとして機能する。

[0075] I/Oポート115は、温度センサS 1～S 5、操作パネル121、圧力計122、ヒータコントローラ123、マスフローコントローラ124、弁開閉制御部125、真空ポンプ126、ポートエレベータ127等に接続され、データや信号の入出力を制御する。

[0076] バス117は、各構成要素の間での情報の伝達に利用される。

- [0077] CPU (Central Processing Unit) 116は、制御部100の中枢を構成する。CPU 116は、ROM 113に記憶された制御プログラムを実行し、操作パネル121からの指示に従って、及び／または、レシピ記憶部112に記憶されているレシピに従って、熱処理装置1の動作を制御する。
- [0078] 次に、熱処理装置1のセットアップ動作において使用される温度測定装置51について説明する。
- [0079] 温度測定装置51は、図7に示すように、支柱52と、支柱52から水平方向に伸びる第1～第6の腕部53～58と、を備える。第1から第3の腕部53、54、55は、図8に示すように、ポート26の上部スロット、中央部スロット、下部スロットにそれぞれ側方から挿入され得るように延びている。第4の腕部56は、回転支柱23を避けつつ、下面ヒータ33の温度測定位置P6、P7に近接して対向するように延びている。第5及び第6の腕部57、58は、処理容器11の側壁の温度測定位置P8とP9に対向するように延びている。
- [0080] 図7に示すように、第1の腕53には、ポート上部ウエハWの中央部P1とエッジ部P2とにそれぞれ対向する位置に、熱電対TC1とTC2が配置されている。
- [0081] 第2の腕54には、ポート中央部ウエハWの中央部P3に対向する位置に、熱電対TC3が配置されている。
- [0082] 第3の腕55には、ポート下部ウエハWの中央部P4とエッジ部P5とにそれぞれ対向する位置に、熱電対TC4とTC5が配置されている。
- [0083] 第4の腕56には、下面ヒータ33の温度測定位置P6とP7とにそれぞれ対向する位置に、熱電対TC6とTC7が配置されている。
- [0084] 第5の腕57には、処理容器11の側壁の温度測定位置P8に対向する位置に熱電対TC8が配置されている。
- [0085] 第6の腕58には、処理容器11の側壁の温度測定位置P9に対向する位置に熱電対TC9が配置されている。
- [0086] 熱電対TC1～TC9は、各温度測定位置P1～P9に対して非接触で近

接して配置され、各温度測定位置P 1～P 9の温度をほぼ正確に測定可能である。これらの熱電対TCの出力信号線は、セットアップ時に、制御部100のI/Oポート115に接続される。

[0087] 次に、熱処理装置1のセットアップ動作について、図9のフローチャートを参照して説明する。このセットアップ動作は、個々の熱処理装置1と基準装置との間の微妙な熱特性の差を求めて、熱モデル記憶部111に記憶されている基準熱モデルM1を修正して熱処理装置1に固有の校正熱モデルM2を作成する作業である。

[0088] まず、操作者は、ダミーウエハWを搭載したポート26及び温度測定装置51を、処理容器11内に配置（ロード）する。具体的には、操作者は、操作パネル121を操作して、ウエハポート蓋体21の降下を指示する。この指示に応答して、制御部100（CPU116）は、ポートエレベータ127を降下させて、ウエハポート蓋体21を降下させる。ウエハポート蓋体21が降下すると、操作者は、図示しないロボットを介して、回転テーブル24上に、ダミーウエハWを搭載したポート26を配置する。また、操作者は、図示しないロボットを介して、温度測定装置51を蓋体21上に載置すると共に、その第1～第6の腕部53～58を図7及び図8に示す所定位置に位置決めする。次に、操作者は、操作パネル121を操作して、ウエハポート蓋体21の上昇を指示する。この指示に応答して、制御部100（CPU116）は、ポートエレベータ127を上昇させて、蓋体21を上昇させ、ポート26及び温度測定装置51を処理容器11内にロードする。

[0089] 続いて、操作者は、操作パネル121を操作して、基準熱モデルM1の校正処理の開始を指示する。

[0090] この指示に応答して、制御部100は、ROM113に記憶されている校正処理用プログラムに従って以下の処理（動作）を開始する。

[0091] まず、制御部100は、圧力計122の出力をモニタしながら、弁開閉制御部125及び真空ポンプ126等を制御し、処理容器11内を所定圧力まで減圧する（ステップS11）。



- [0092] 続いて、制御部 100 は、処理容器 11 内の温度測定位置 P 1 ~ P 9 及びセンサ S 4 の目標温度を、セットアップレシピ R 1 に従って、第 1 の温度（例えば、500℃）に設定する（ステップ S 12）。
- [0093] 処理容器 11 内の温度が安定した時点で、温度センサ S 1 ~ S 5 及び熱電対 T C 1 ~ T C 9 で各温度測定位置の温度が実測される（ステップ S 13）。
- [0094] 続いて、温度センサ S 1 ~ S 5 の測定温度及びヒータ 31 ~ 33 への供給電力等の情報が、基準熱モデル M 1 に適用される。これにより、温度測定位置 P 1 ~ P 9（モニタウエハ W の中央部及び周縁部の温度測定位置 P 1 ~ P 5、下面ヒータ 33 の温度測定位置 P 6、P 7、処理容器 11 の側壁内面の温度測定位置 P 8、P 9）、及び、温度センサ S 4 の各温度が予想される（ステップ S 14）。
- [0095] 次に、温度測定位置 P 1 ~ P 9 及び温度センサ S 4 の各温度の予想値と実測値とが対応付けられて、RAM 114 に記憶される（ステップ S 15）。
- [0096] 次に、制御部 100 は、セットアップレシピ R 1 で設定されている全ての温度についてのセットアップ処理が終了したか否かを判断する（ステップ S 16）。終了していない場合には（ステップ S 16；No）、処理工程はステップ S 12 に戻って、次の設定温度について同様の処理が繰り返される。
- [0097] 一方、セットアップレシピ R 1 で設定されている全ての温度についてのセットアップ処理が終了した場合には（ステップ S 16；Yes）、その時点で、図 10 に示すように、実測温度と予想温度との対応表が RAM 114 上で得られる。そして、処理工程はステップ S 18 に進む。
- [0098] ステップ S 18 においては、RAM 114 上に形成された対応表に基づいて、熱電対 T C 1 ~ T C 9 で実測された温度 T R 1 ~ T R 9 及び温度センサ S 4 で実測された温度 T R 10 と、基準熱モデル M 1 を用いて予想された温度測定位置 P 1 ~ P 9 の温度 T P ~ T P 9 及び温度センサ S 4 の温度 T P 10 と、がそれぞれ比較され、ウエハ W の温度の補正值が求められる。
- [0099] 補正值を求める手法は任意であるが、例えば、以下の数式 1 に従って、補

正値を求めることができる。

補正値  $A_i$  = 基準熱モデル  $M_1$  による予想値  $TP_i$  - 実測値  $TR_i$  . . .  
・ 数式 1

ここで、添え字の  $i$  は、温度測定位置  $P_1 \sim P_9$  に対応する値  $1 \sim 9$  及び温度センサ  $S_4$  に対応する値  $10$  のいずれかである。

[0100] なお、補正値  $A_i$  は、 $i$  の関数の形式として表されてもよい。例えば、予想値  $TP_i$  - 実測値  $TR_i$  が図 11 に示すようにばらついた場合、例えば最小二乗法を用いてこれらを代表する一次関数  $f(TP_i)$  を求め、これを補正値  $A_i$  として利用してもよい。

[0101] 次に、基準熱モデル  $M_1$  を校正することによって校正熱モデル  $M_2$  が作成され、熱モデル記憶部 111 に格納される（ステップ  $S_{19}$ ）。即ち、以下の数式 2 で示すように、基準熱モデル  $M_1$  による予想値  $TP_i$  を補正値  $A_i$  で補正した値を予想するような校正熱モデル  $M_2$  が作成され、熱モデル記憶部 111 に格納される。

校正熱モデル  $M_2$  による予想値  $TQ_i$  = 基準熱モデル  $M_1$  による予想値  $TP_i$  - 補正値  $A_i$  . . . 数式 2

[0102] 例えば、補正値  $A_i$  が図 11 に示すような関数  $f(TP_i)$  で表され、基準熱モデル  $M_1$  による予想温度が  $T_0$  とすると、予想温度が  $T_0 - f(T_0)$  となるように、基準熱モデル  $M_1$  が校正される。

[0103] 以上により、基準熱モデル  $M_1$  が熱処理装置 1 用に校正（カスタマイズ）された校正熱モデル  $M_2$  が得られる。

[0104] その後、制御部 100 は、ポートエレベータ 127 を降下させて、蓋体 21 を降下させ、ポート 26 及び温度測定装置 51 をアンロードする。そして、操作者は、操作パネル 121 を操作して、図示しないロボットを介して、ポート 26 及び温度測定装置 51 を処理容器 11 から搬出する。

[0105] 熱モデル記憶部 111 に記憶された校正熱モデル  $M_2$  は、その後、実際のプロセスで温度測定位置  $P_1 \sim P_9$  の温度及び温度センサ  $S_4$  の温度を予想するために使用される。

- [0106] 次に、上述のように校正された校正熱モデルM2を用いて、成膜処理、拡散処理等の熱処理を行う動作を図12、図13を参照して説明する。
- [0107] まず、操作者は、操作パネル121を操作して、実行対象のプロセスを特定する。操作パネル121からの操作指示に応答して、CPU116は、実行対象のプロセスのプロセスレシピをレシピ記憶部112から読み出し、当該プロセスレシピをRAM114上に格納する。ここでは、図6に示すレシピが選択されたものとする。
- [0108] 操作者は、操作パネル121を操作して、図示せぬロボットによって処理対象のウエハWが積載されたポート26を回転テーブル24上に載置する。そして、操作者は、ポート26のロードを指示する。この指示に応答して、制御部100は、処理容器11の内面の温度をプロセスレシピが指定する温度に維持しながら、ポートエレベータ127を制御してポート26をロードする。
- [0109] 具体的に説明すると、制御部100のCPU116は、図12Aに示すように、ポート26をロードするためにポートエレベータ127を制御する動作（ステップS21）と、処理容器11の内壁の温度測定位置P8、P9の予想温度をプロセスレシピが規定する温度に一致させるべく温度センサS1～S5で温度を検出しつつヒータコントローラ123を介してヒータ31～33を制御する動作（ステップS22）を、ポート26のロードの完了が検出されるまで（ステップS23；Yes）繰り返す。
- [0110] ポート26のロードが完了すると、制御部100は、処理容器11内を排気すると共に、ヒータコントローラ123を介して各部の温度をレシピが規定する温度に一致させるべくヒータ31～33を制御する。処理容器11内の排気が完了し、処理容器11内のウエハを含む各部の温度がプロセスレシピが指定する温度と一致すると、制御部100は、開閉弁制御部125を介して、処理ガスの供給を開始する。
- [0111] 以後、処理容器11内の圧力、各部の温度、ガス流量、排気量などがレシピに従って制御されながら、熱処理が進められる。この間、制御部100は

、下面ヒータ 3 3 の温度測定位置 P 6、P 7、処理容器 1 1 の側壁の温度測定位置 P 8、P 9、及び、温度センサ S 4 の各予想温度をレシピが規定する温度に一致させるべくヒータ 3 1 ~ 3 3 を制御する。

[0112] 具体的に説明すると、図 1 3 に示すように、CPU 1 1 6 は、温度センサ S 1 ~ S 5 により温度を測定し、また、ヒータ電力などの測定値を取り込む（ステップ S 3 1）。

[0113] 続いて、CPU 1 1 6 は、前記測定値を校正熱モデル M 2 に適用して、温度測定位置 P 1 ~ P 9 及び温度センサ S 4 の温度を予想する（ステップ S 3 2）。

[0114] 続いて、CPU 1 1 6 は、校正熱モデル M 2 に基づいて、温度測定位置 P 1 ~ P 5 の予想温度をプロセスレシピが指定するウエハ温度に一致させ、温度測定位置 P 6、P 7 の予想温度の平均値をプロセスレシピが規定する下面ヒータ 3 3 の温度に一致させ、温度測定位置 P 8、P 9 の予想温度の平均値をプロセスレシピが規定する処理容器 1 1 の内面の温度に一致させ、温度センサ S 4 の予想温度をプロセスレシピが指定する温度センサ S 4 の温度に一致させるべく、ヒータコントローラ 1 2 3 を介して、ヒータ 3 1 ~ 3 3 への供給電力を制御する（ステップ S 3 3）。

[0115] 続いて、CPU 1 1 6 は、圧力計 1 2 2 及びマスフローコントローラ 1 2 4 等の測定値を取り込み、処理容器 1 1 内の圧力やガス流量などをプロセスレシピが規定する値と一致させるべく、マスフローコントローラ 1 2 4、弁開閉制御部 1 2 5、真空ポンプ 1 2 6 等を制御する。

[0116] 続いて、CPU 1 1 6 は、処理が終了したか否か、例えば処理が一定時間継続したか否か、を判別する（ステップ S 3 5）。終了していなければ（ステップ S 3 5；N o）、ステップ S 3 1 に戻って処理が継続される。終了していれば（ステップ S 3 5；Y e s）、当該プロセス処理は終了し、ページ処理などが開始される。

[0117] 以上のように、ウエハ W の予想温度（推定温度）をレシピが規定する温度に一致させるだけでなく、処理容器 1 1 内のウエハ W 以外の部分、具体的に

は、下面ヒータ 33 と処理容器 11 の側面と温度センサ S4 の推定温度を、それぞれレシピが規定する温度と一致させるように制御が行われる。これにより、ウエハ W の温度のみを予想して制御する場合に比して、例えば CVD 系プロセスにおいては、ガス分解効果の変動（バラツキ）が抑えられる。これにより、プロセスレシピが本来予定しているプロセスからの変動（バラツキ）が小さい状態でプロセスを実行でき、予定している結果に近い結果を得ることができる。

[0118] さらに、プロセス毎に適切にレシピが設定されれば、ガス分解効果を促進或いは鈍化させることが可能である。これにより、ユーザにとって望ましい成膜結果が得られる。

[0119] 成膜処理が終了すると、制御部 100 が開閉弁制御部 125、真空ポンプ 126、ヒータコントローラ 123 等を制御して、プロセスガスの供給が停止され、代わりに、パージガスが供給されて、処理容器 11 内の処理ガスが排気されながら処理容器 11 内が昇圧されつつ冷却される。

[0120] 処理容器 11 内の圧力が大気圧まで上がり、温度が所定温度まで低下されると、制御部 100 によりポートエレベータ 127 が制御されて、ポート 26 がアンロードされる。このアンロードの間、即ち、ウエハ W を処理容器 11 から取り出している間、制御部 100 は、処理容器 11 の内面の温度測定位置 P8、P9 の予想温度がそれぞれレシピで設定された一定温度に維持されるように、ヒータ 31～33 を制御する。また、この間、制御部 100 が真空ポンプ 126 等を制御して、排気部 12 から、処理容器 11 内で発生されるパーティクルを吸引排気する。

[0121] 具体的に説明すると、制御部 100 の CPU 116 は、図 12B に示すように、ポート 26 をアンロードするためにポートエレベータ 127 を制御する動作（ステップ S25）と、処理容器 11 の内壁の温度測定位置 P8、P9 の予想温度をプロセスレシピが規定する温度に一致させるべく温度センサ S1～S5 で温度を検出しつつヒータコントローラ 123 を介してヒータ 33 を制御する動作（ステップ S26）と、処理容器 11 内を排気するように

真空ポンプ１２６を制御する動作（ステップ２７）とを、ポート２６のアンロードの完了が検出されるまで（ステップＳ２８；Ｙｅｓ）繰り返す。

[0122] ポート２６のアンロードが終了すると、操作者は、操作パネル１２１を操作して、図示せぬロボットによって回転テーブル２４上からポート２６を取り出す。

[0123] 以上説明したように、本実施の形態にかかる熱処理装置は、成膜処理時に、ウエハの温度だけでなく、処理容器１１内の所定のウエハＷ以外の部分（温度センサＳ４、下面ヒータ３３、処理容器１１の内側面）の温度をも推定し、それらの推定温度を予め設定されたレシピの温度と一致させるように温度制御（ヒータ制御）を行う。従って、ウエハＷの温度だけを予想して制御する場合に比して、処理のバラツキが抑えられ安定して高い品質の成膜を行うことができる。

[0124] また、ポート２６のロード及びアンロードの間、処理容器１１内面の温度がほぼ一定値に制御されることにより、処理容器１１の内面の堆積物が剥離することを抑えることが可能となる。これにより、パーティクルの発生を抑える事ができる。

[0125] この発明は、上記実施の形態に限定されず、種々の変形及び応用が可能である。例えば、上記実施の形態においては、処理中に、ウエハＷの温度以外に、下面ヒータ３３と温度センサＳ４と処理容器１１の内面との各予想温度をレシピが規定する温度と一致させるような制御が行われている。しかし、本発明はこれに限定されない。例えば、処理中に、処理容器１１の内面の温度が制御対象から外され、ウエハＷの温度と下面ヒータ３３と温度センサＳ４の温度のみを予想・制御対象としてもよい。

[0126] また、上記実施の形態においては、下面ヒータ３３の温度測定位置Ｐ６、Ｐ７、処理容器１１の内面の温度測定位置Ｐ８、Ｐ９の各温度がそれぞれ予想され、それぞれ、レシピが指定する温度と一致するように制御される。しかし、本発明はこれに限定されない。例えば、下面ヒータ３３の温度測定位置Ｐ６及びＰ７の平均温度のみが予想され、予想した平均温度がレシピが指

定する温度と一致するようにヒータ 3 1 ~ 3 3 が制御されてもよい。或いは、処理容器 1 1 の内面の温度測定位置 P 8 及び P 9 の平均温度のみが予想され、予想した平均温度がレシピが指定する温度と一致するようにヒータ 3 1 ~ 3 3 が制御されてもよい。

[0127] この場合には、熱モデル記憶部 1 1 1 には、温度測定位置 P 6 と P 7 の温度の平均温度及び／または温度測定位置 P 8 と P 9 の温度の平均温度を予想する熱モデルが格納され、レシピ記憶部 1 1 2 には、温度測定位置 P 6 と P 7 の温度の平均温度及び／または温度測定位置 P 8 と P 9 の温度の平均温度のレシピが格納される。CPU 1 1 6 は、熱モデルに基づいて、温度測定位置 P 6 と P 7 の温度の平均温度及び／または温度測定位置 P 8 と P 9 の温度の平均温度を予想し、当該予想温度をレシピが規定する温度と一致させるべく、ヒータコントローラ 1 2 3 を介してヒータ 3 1 ~ 3 3 を制御する。

[0128] 熱モデルは、温度測定位置 P 6 ~ P 9 の温度を個別に予想してもよい。この場合には、CPU 1 1 6 が、予想した温度の平均値を計算し、温度測定位置 P 6 と P 7 の温度の平均温度及び／または温度測定位置 P 8 と P 9 の温度の平均温度をそれぞれレシピが規定する温度と一致させるべく、ヒータコントローラ 1 2 3 を介してヒータ 3 1 ~ 3 3 を制御する。

[0129] また、他の箇所が温度の制御対象とされ得る。例えば、ポート 2 6 の任意の位置の温度や温度センサ S 5 の温度が、予想及び制御の対象とされ得る。この場合には、ポート 2 6 の所定位置の温度及び／または温度センサ S 5 の温度を予想するモデルが作成され、さらに、プロセスの実行に最適なポート 2 6 の所定位置の温度及び／または温度センサ S 5 の温度（の変化）のレシピが作成される。そして、作成されたレシピの温度にポート 2 6 及び／または温度センサ S 5 の予想温度が一致するように、ヒータ 3 1 が制御される。

[0130] 温度制御の対象とされる箇所は任意である。但し、処理ガスの流れ、圧力分布などを考慮し、その箇所の温度が直接又は間接的にプロセスに影響を与えるような箇所が選択、設定されることが望ましい。

[0131] さらに、温度予想用の温度センサの数や配置位置は、適宜変更可能である

。数は5つに限定されず、配置位置は、処理容器11の内壁に配置する等してもよい。

[0132] また、この発明が適用される熱処理装置1も、上記実施の形態のものに限定されず、任意に変更可能である。例えば、処理容器11が例えば二重管構造であったり、ポート26に収容できる半導体ウエハWの数がより大容量（例えば、約100枚から150枚）であったり、あるいは、より小容量（例えば、15〜30枚）であってもよい。

[0133] また、熱処理の種類も任意である。すなわち、本発明は、CVD装置に限らず、酸化装置、エッチング装置、等の様々なバッチ式熱処理装置に適用可能である。

[0134] また、機器構成やそれらの動作も、上記実施の形態に限定されない。例えば、上記実施の形態では、側面ヒータの数を3つ、内部ヒータの数を2つとしたが、ヒータの数や配置は任意である。また、ヒータは、電気抵抗型のものに限定されず、加熱ランプなどでもよい。また、ウエハ等の温度を測定するための構成も、熱電対に限定されず、任意の温度センサを適用可能である。

[0135] また、熱モデル及びその設計手法も、米国特許5, 517, 594に開示されたモデル及びその設計手法に限定されるものではなく、任意のモデル及び任意の設計手法を採用可能である。

[0136] さらに、上記実施の形態では、熱モデルを生成する段階で、上面ヒータ32の温度については、温度センサS4の温度で近似され、下面ヒータ33の温度については、熱電対TC8, TC9で直接測定されている。しかし、他の手法を使用することも可能である。例えば、放射温度計などを用いて温度を測定することが可能である。

[0137] また、上記実施の形態における制御部100は、専用のシステムであってもよいが、通常のコンピュータシステムによっても実現可能である。例えば、汎用コンピュータに、上述の校正処理を実行するためのプログラムをインストールすることにより、当該汎用コンピュータを制御部100として利用



することができる。例えば、上述の校正処理を行うためのコンピュータプログラム（の少なくとも一部）は、CD-ROMやDVD-ROMなどのコンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納して配布され得る。このようなコンピュータプログラムは、I/Oポート115を介してRAM114に転送され得る。転送されたプログラムは、CPU116で実行されて、上述の校正処理を実行する。

[0138] また、コンピュータシステムにコンピュータプログラムを供給するための手段は、任意である。すなわち、上述のように所定の記録媒体を介して供給する態様その他、通信回線、通信ネットワーク、通信システム等を介して供給する態様も採用され得る。具体的には、例えば、通信ネットワークの掲示板（BBS）に掲示されたプログラムが、ネットワークを介して搬送波に重畳されて、I/Oポート115に転送されてもよい。

[0139] なお、汎用コンピュータにおいては、前記コンピュータプログラムは、OSの制御下で他のアプリケーションと同様に実行されてもよい。

## 請求の範囲

- [1] 被処理体を収容する処理容器と、  
前記被処理体を加熱する複数のヒータと、  
前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、  
前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、  
前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、  
を備え、  
前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、  
前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、  
前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっている  
ことを特徴とする熱処理装置。
- [2] 前記複数のヒータのうちの1つとして、前記処理容器内に内部ヒータが配置されており、  
前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記処理容器内の内部ヒータを含んでいる  
ことを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置。

- [3] 前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記処理容器の内壁面の所定位置を含んでいる  
ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の熱処理装置。
- [4] 前記複数のヒータのうちの 2 つとして、前記処理容器内に收容される被処理体の上方部及び下方部に対応して、上部ヒータ及び下部ヒータが配置されており、  
前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記上部ヒータ及び前記下部ヒータを含んでいる  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の熱処理装置。
- [5] 前記処理容器の上方には、排気管が接続されており、  
前記上部ヒータは、前記排気管を取り巻くように配置されている  
ことを特徴とする請求項 4 に記載の熱処理装置。
- [6] 前記複数のヒータのうちの 2 つとして、前記処理容器内に收容される被処理体の上方部及び下方部に対応して、上部ヒータ及び下部ヒータが配置されており、  
前記処理容器内に收容された前記被処理体と前記上部ヒータとの間に、前記複数の温度センサのうちの 1 つとして、上部温度センサが配置されており、  
前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記上部温度センサ及び前記下部ヒータを含んでいる  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の熱処理装置。
- [7] 前記処理容器の上方には、排気管が接続されており、  
前記上部ヒータは、前記排気管を取り巻くように配置されている  
ことを特徴とする請求項 6 に記載の熱処理装置。
- [8] 前記処理容器のガス導入口にガスを導入する手段と、  
前記処理容器のガス排出口からガスを排気する手段と、  
を更に備え、  
前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位は、前記ガス導入口から

前記ガス排出口に至る経路上の、前記ガス導入口から前記被処理体の最下流側の部位までの間に設定されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の熱処理装置。

- [9] 前記熱モデルは、熱処理中の前記複数の温度センサの出力から、当該熱処理中の前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度とを推定するように構成されており、

前記レシピには、熱処理中の前記被処理体の所望の温度と前記所定部位の所望の温度とが規定されており、

前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて熱処理中の前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された熱処理中の前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の熱処理装置。

- [10] 被処理体を前記処理容器内にロードすると共に処理済みの被処理体を当該処理容器からアンロードするロード／アンロード手段を更に備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の熱処理装置。

- [11] 前記熱モデルは、ロード中及び／またはアンロード中の前記複数の温度センサの出力から、当該ロード中及び／またはアンロード中の前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度とを推定するように構成されており、

前記レシピには、ロード中及び／またはアンロード中の前記被処理体の所望の温度と前記所定部位の所望の温度とが規定されており、

前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いてロード中及び／またはアンロード中の前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定されたロード中及び／またはアンロード中の前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させる

べく前記複数のヒータを制御するようになっている  
ことを特徴とする請求項 10 に記載の熱処理装置。

- [12] 被処理体を収容する処理容器と、  
前記被処理体を加熱する複数のヒータと、  
前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、  
を備えた熱処理装置を制御する熱処理方法であって、  
予め設定された熱モデルに前記複数の温度センサの出力を適用して、前記被処理体の温度と、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度と、を予想する予想工程と、  
前記予想工程にて予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度を、予め規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度に一致させるべく、前記複数のヒータを制御する制御工程と、  
を備えたことを特徴とする方法。
- [13] 被処理体を収容する処理容器と、  
前記被処理体を加熱する複数のヒータと、  
前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、  
を備えた熱処理装置を制御するプログラムであって、  
予め設定された熱モデルに前記複数の温度センサの出力を適用して、前記被処理体の温度と、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度と、を予想する予想手順と、  
前記予想工程にて予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度を、予め規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度に一致させるべく、前記複数のヒータを制御する制御手順と、  
をコンピュータに実行させるプログラム。
- [14] 被処理体を収容する処理容器と、  
前記被処理体を加熱する複数のヒータと、

前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、

を備えた熱処理装置を制御するプログラムであって、

予め設定された熱モデルに前記複数の温度センサの出力を適用して、前記被処理体の温度と、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度と、を予想する予想手順と、

前記予想工程にて予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度を、予め規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度に一致させるべく、前記複数のヒータを制御する制御手順と、

をコンピュータに実行させるプログラム

を記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[15] 被処理体を収容する処理容器と、

前記被処理体を加熱する複数のヒータと、

前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、

を備えた熱処理装置を制御する制御装置であって、

前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、

前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、

を備え、

前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、

前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、

前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることを特徴とする制御装置。

[16] 少なくとも1台のコンピュータを含むコンピュータシステムによって実行されて、前記コンピュータシステムに

被処理体を収容する処理容器と、

前記被処理体を加熱する複数のヒータと、

前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、

を備えた熱処理装置を制御する制御装置であって、

前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、

前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、

を備え、

前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、

前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、

前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定さ

れた前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることを特徴とする制御装置を実現させるプログラム。

[17]      少なくとも1台のコンピュータを含むコンピュータシステム上で動作する第2のプログラムを制御する命令が含まれており、

前記コンピュータシステムによって実行されて、前記第2のプログラムを制御して、前記コンピュータシステムに

被処理体を収容する処理容器と、

前記被処理体を加熱する複数のヒータと、

前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、

を備えた熱処理装置を制御する制御装置であって、

前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、

前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、

を備え、

前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、

前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、

前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定さ



れた前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっていることを特徴とする制御装置を実現させるプログラム。

- [18]     少なくとも 1 台のコンピュータを含むコンピュータシステムによって実行されて、前記コンピュータシステムに
- 被処理体を収容する処理容器と、
  - 前記被処理体を加熱する複数のヒータと、
  - 前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、
- を備えた熱処理装置を制御する制御装置であって、
- 前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、
  - 前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、
  - を備え、
  - 前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、
  - 前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、
  - 前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっている

ことを特徴とする制御装置

を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

- [19]      少なくとも1台のコンピュータを含むコンピュータシステム上で動作する第2のプログラムを制御する命令が含まれており、

前記コンピュータシステムによって実行されて、前記第2のプログラムを制御して、前記コンピュータシステムに

被処理体を収容する処理容器と、

前記被処理体を加熱する複数のヒータと、

前記処理容器内の複数の所定位置の温度をそれぞれ検出する複数の温度センサと、

を備えた熱処理装置を制御する制御装置であって、

前記複数の温度センサの出力から前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度を推定するための熱モデルと、前記被処理体の所望の温度が規定されたレシピと、を記憶する記憶部と、

前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度を予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御する制御部と、

を備え、

前記熱モデルは、前記複数の温度センサの出力から、前記処理容器内に収容された前記被処理体の温度と共に、前記処理容器内の他の少なくとも一つの所定部位の温度をも推定するように構成されており、

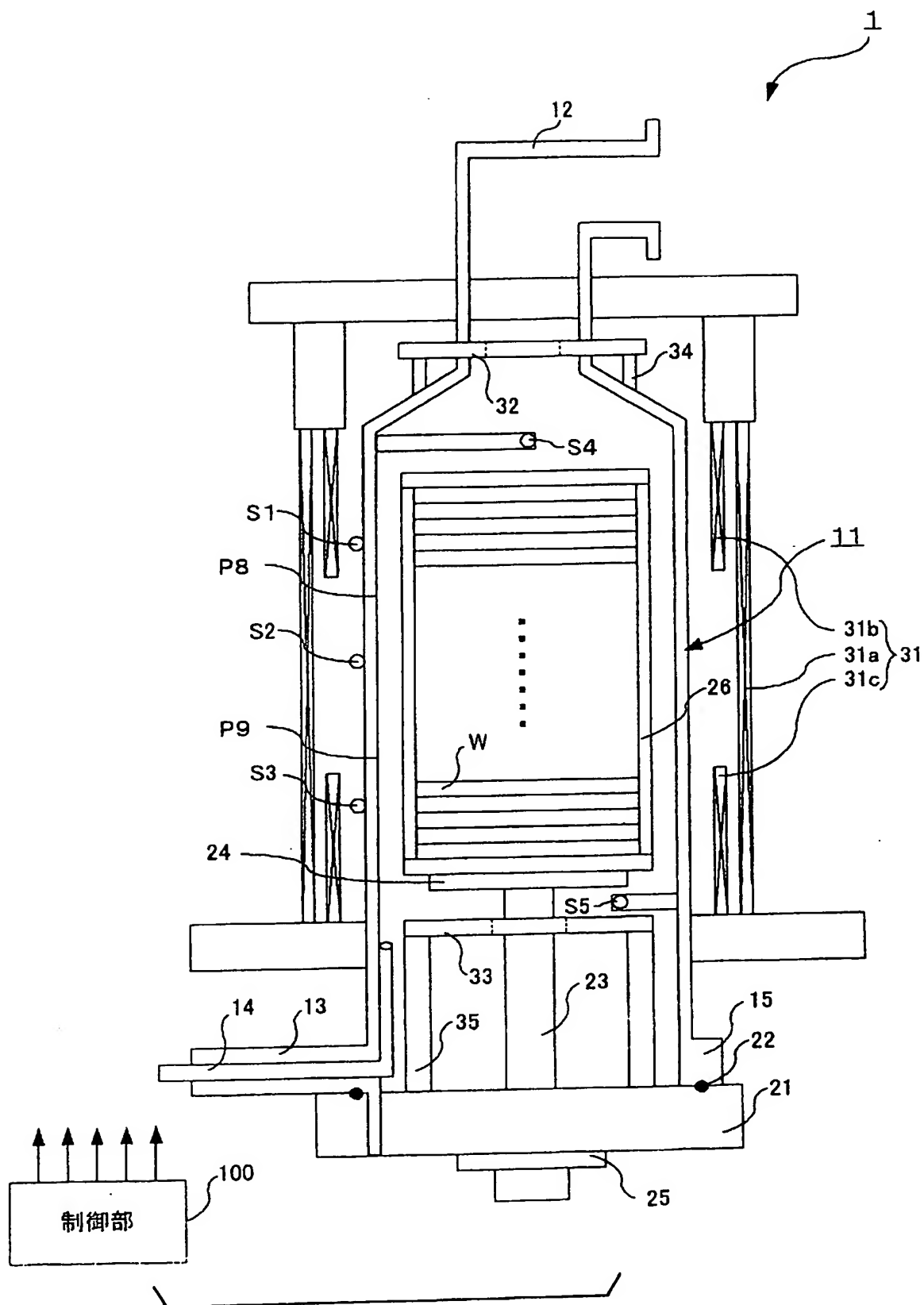
前記レシピには、前記所定部位の所望の温度をも規定されており、

前記制御部は、前記複数の温度センサの出力と前記熱モデルとを用いて前記被処理体の温度と前記所定部位の温度とを予想すると共に、当該予想された前記被処理体の温度及び前記所定部位の温度の各々を前記レシピに規定された前記被処理体の所望の温度及び前記所定部位の所望の温度と一致させるべく前記複数のヒータを制御するようになっている

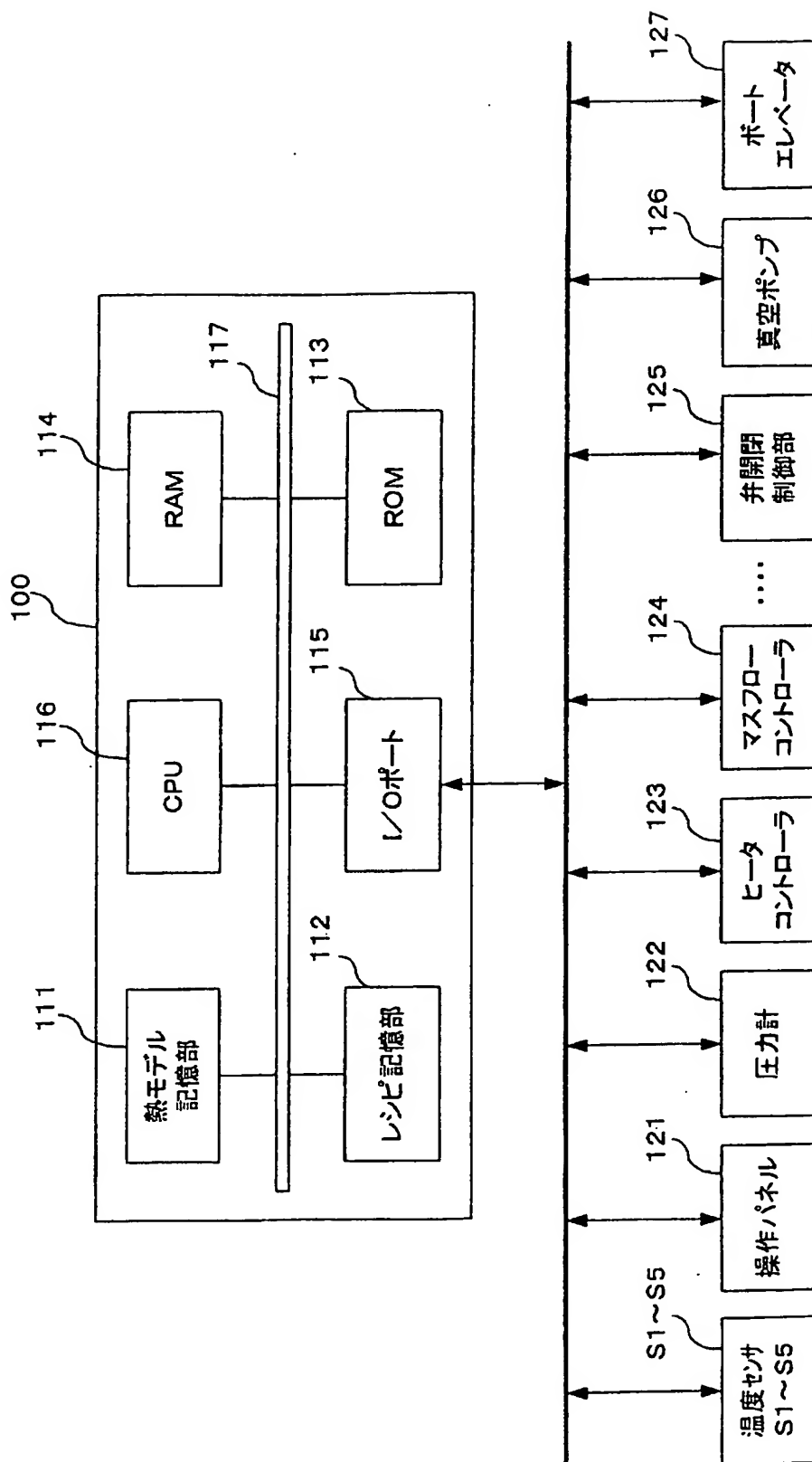
ことを特徴とする制御装置

を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

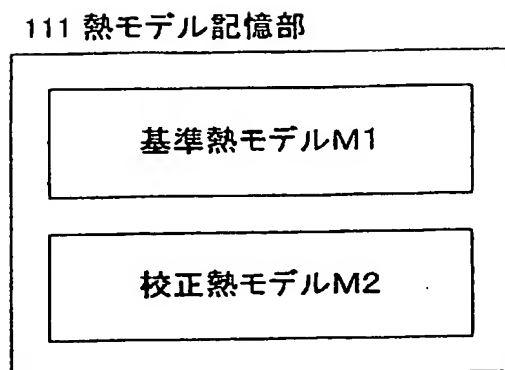
[図1]



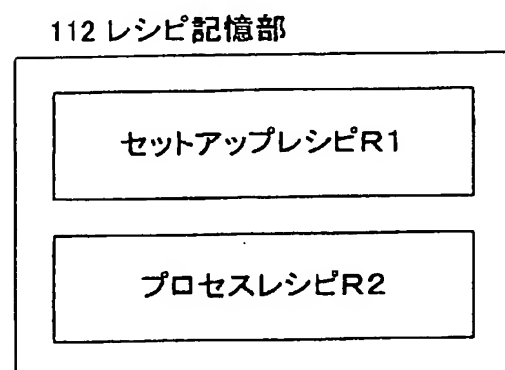
[図2]



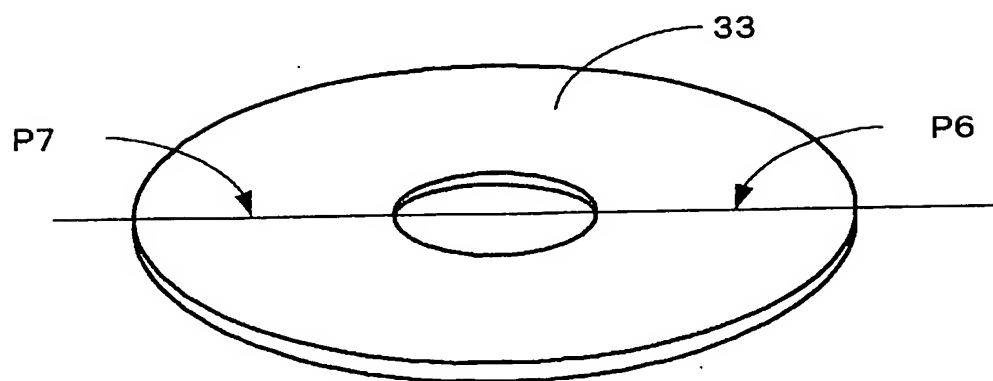
[図3A]



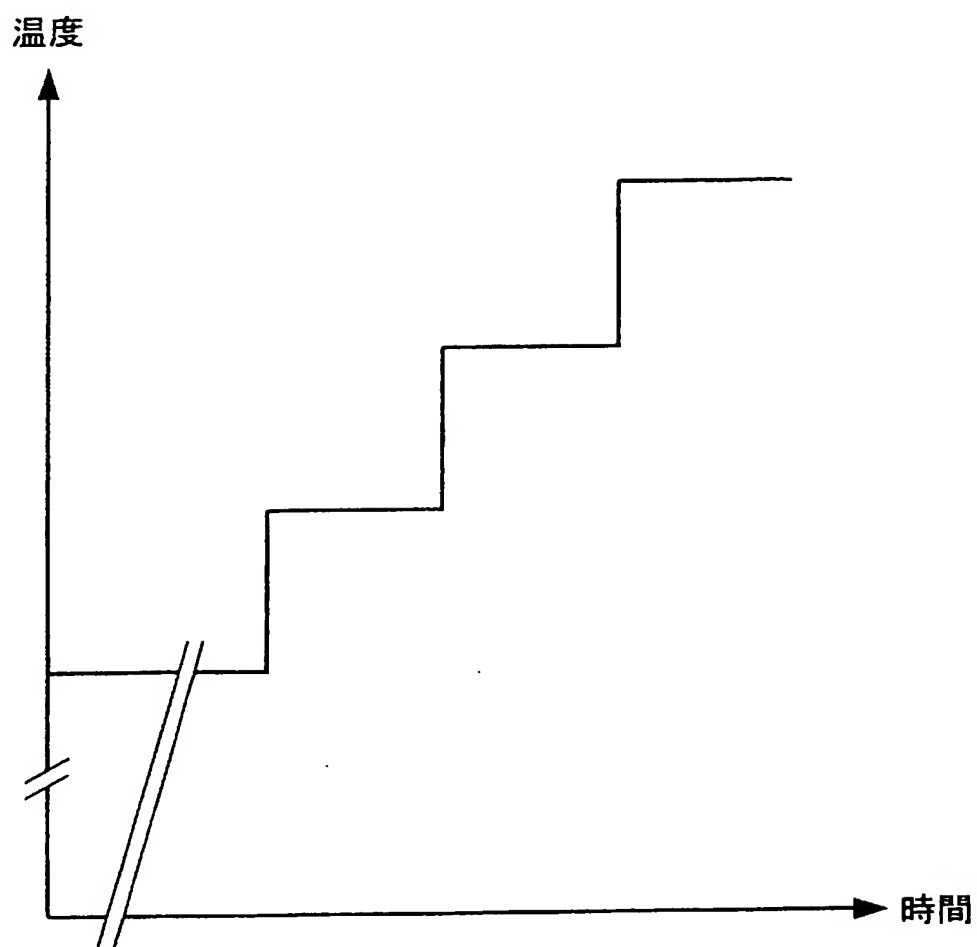
[図3B]



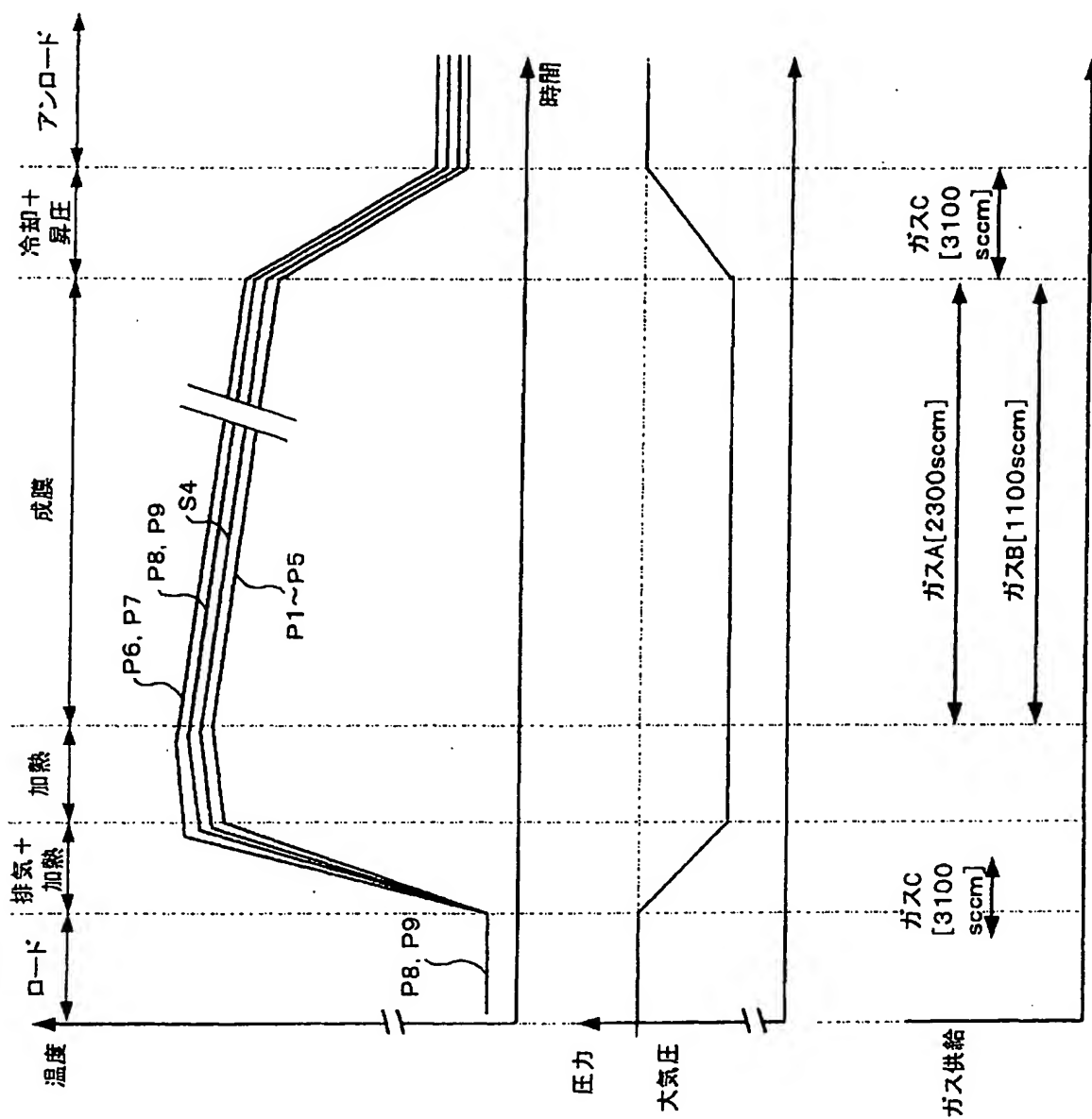
[図4]



[図5]

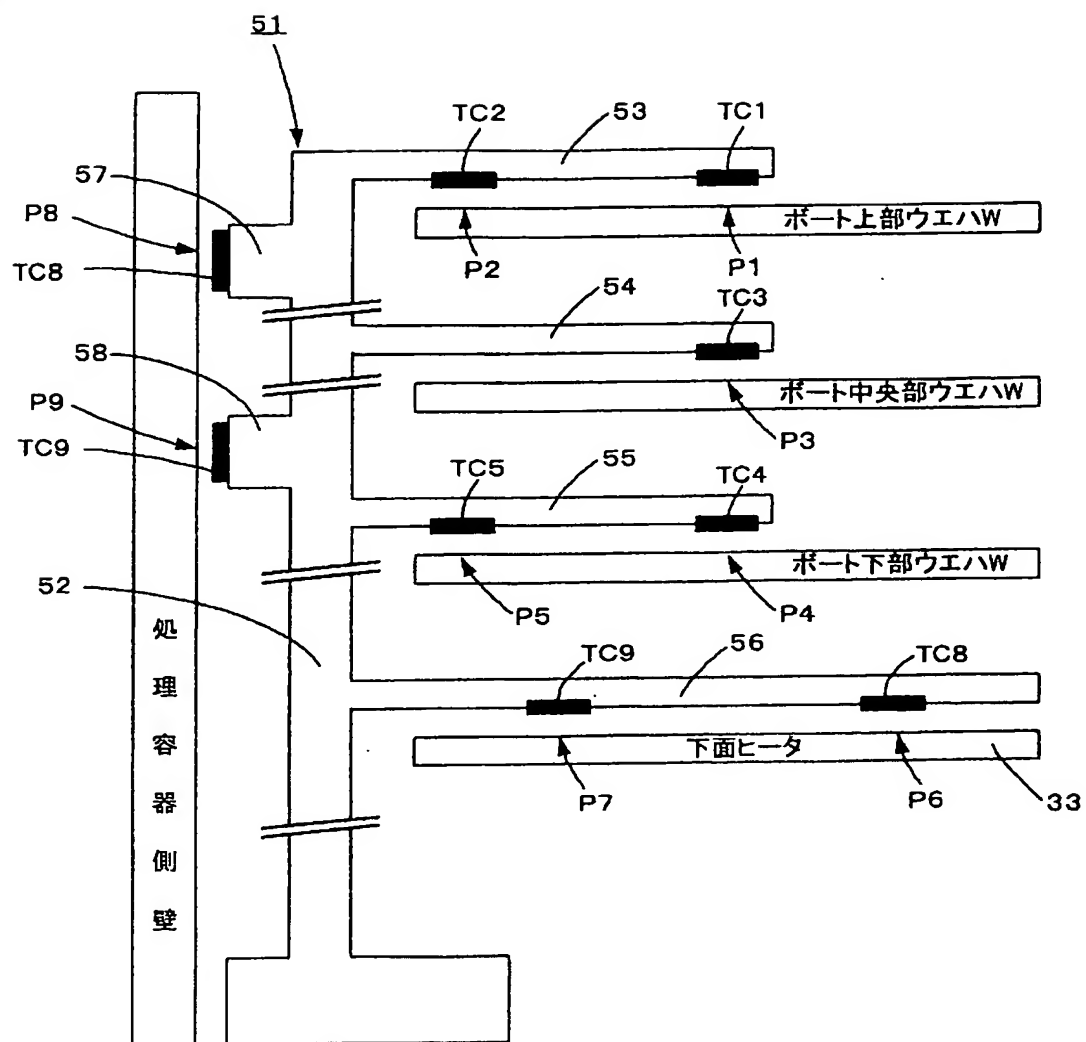


[図6]

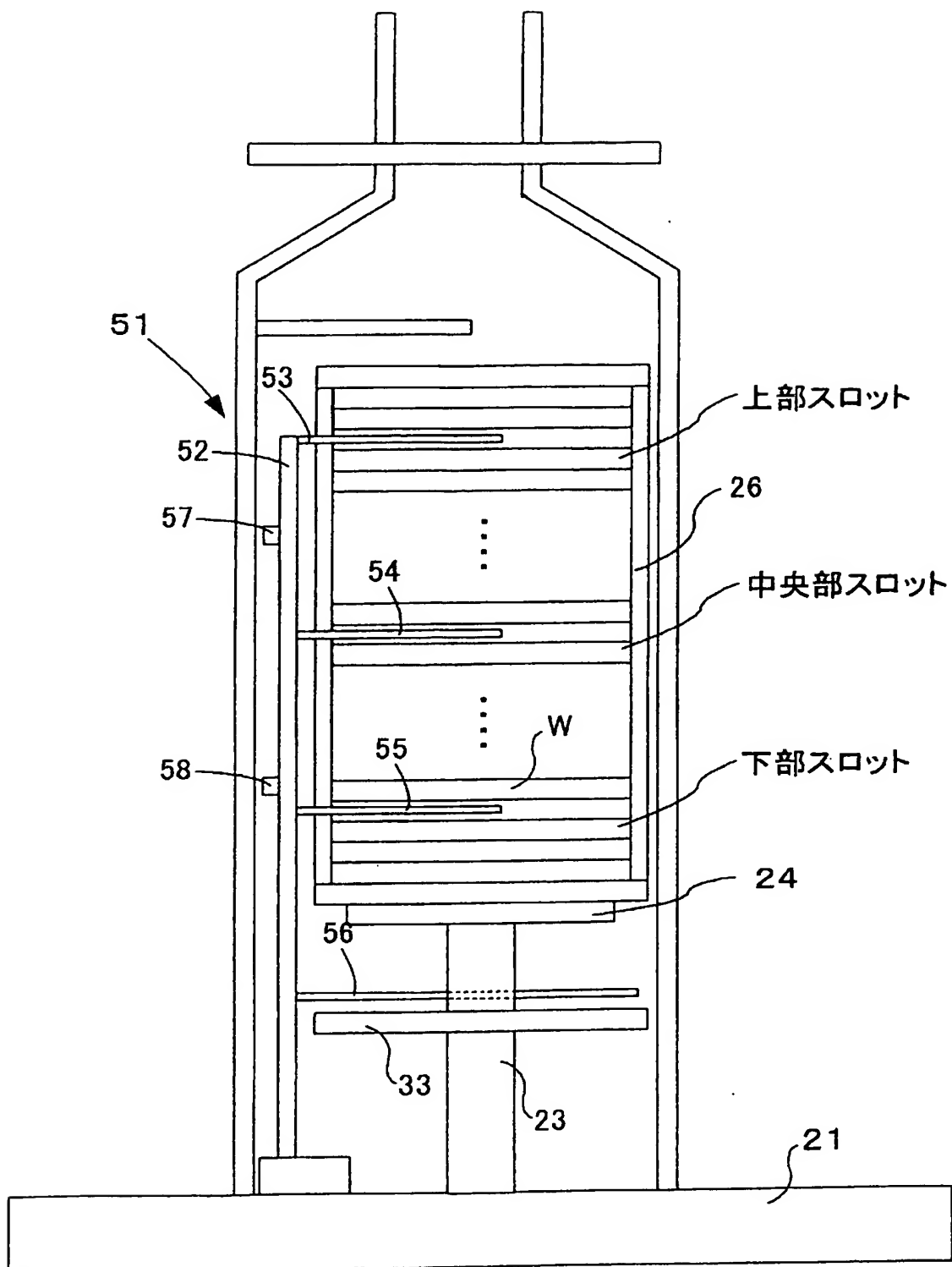




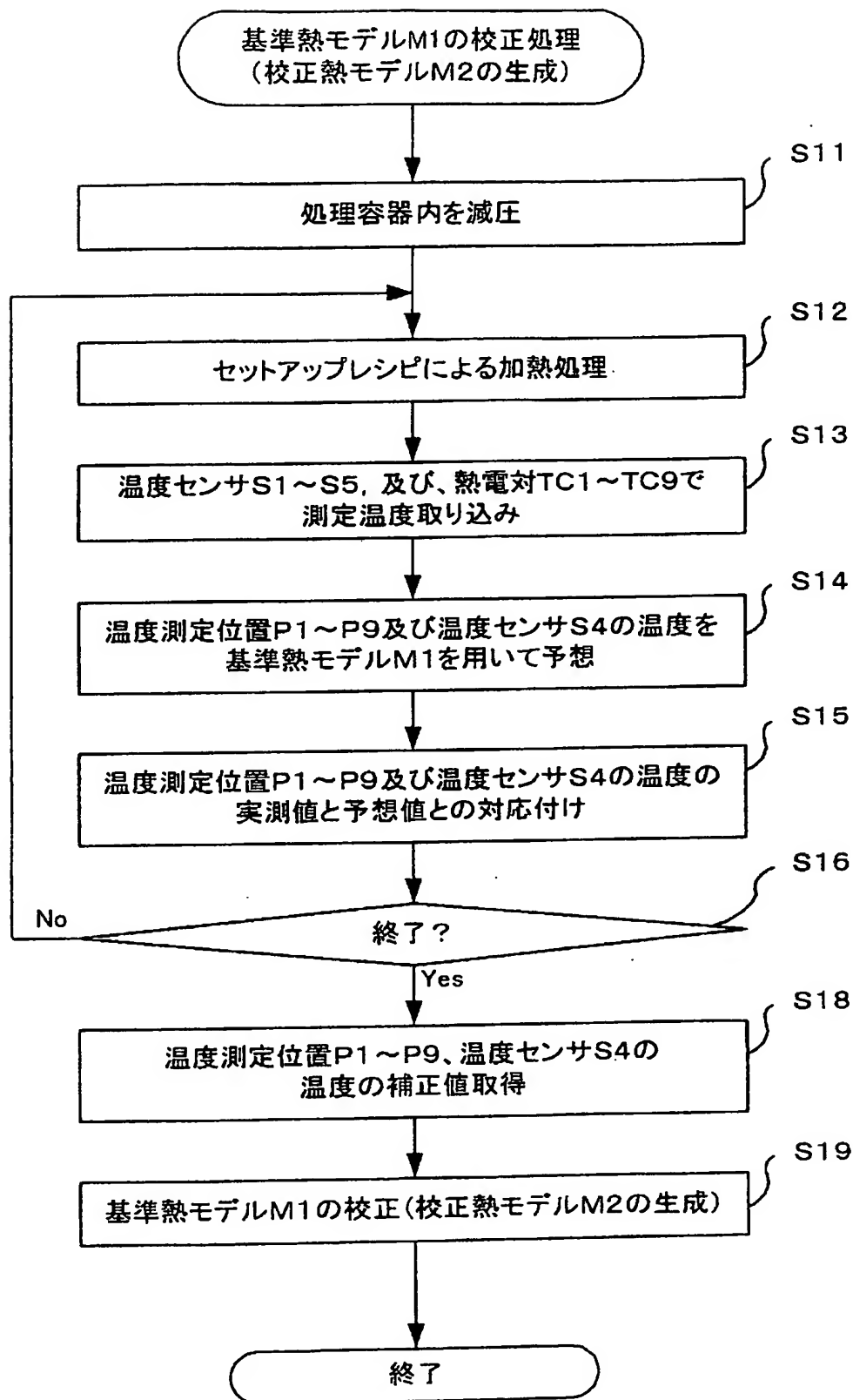
[図7]



[図8]



[図9]

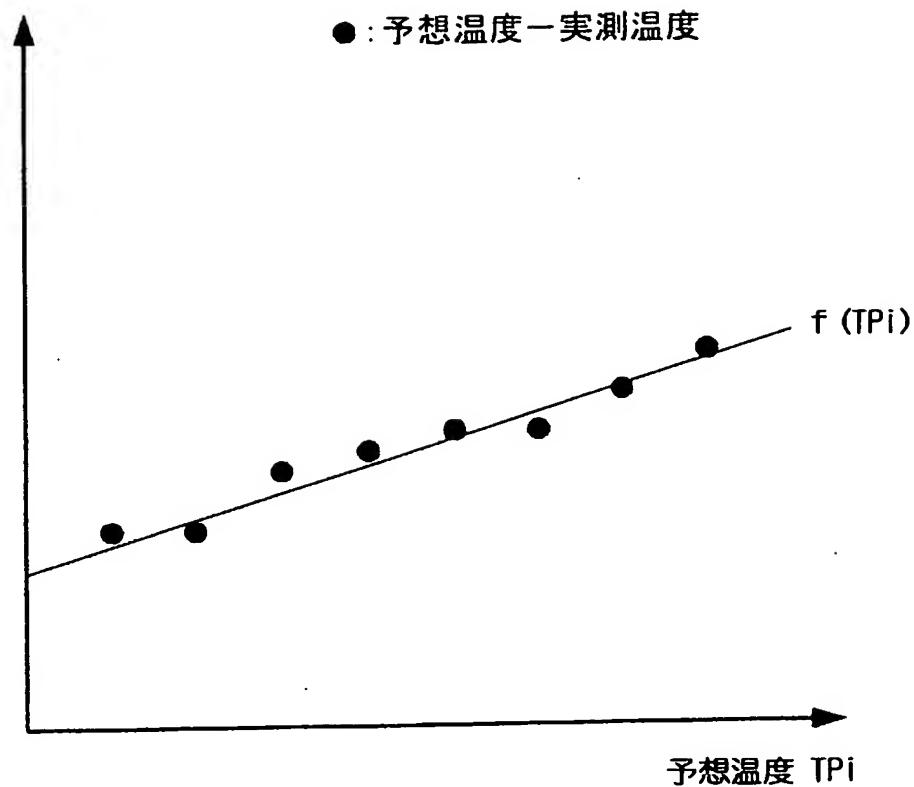


[図10]

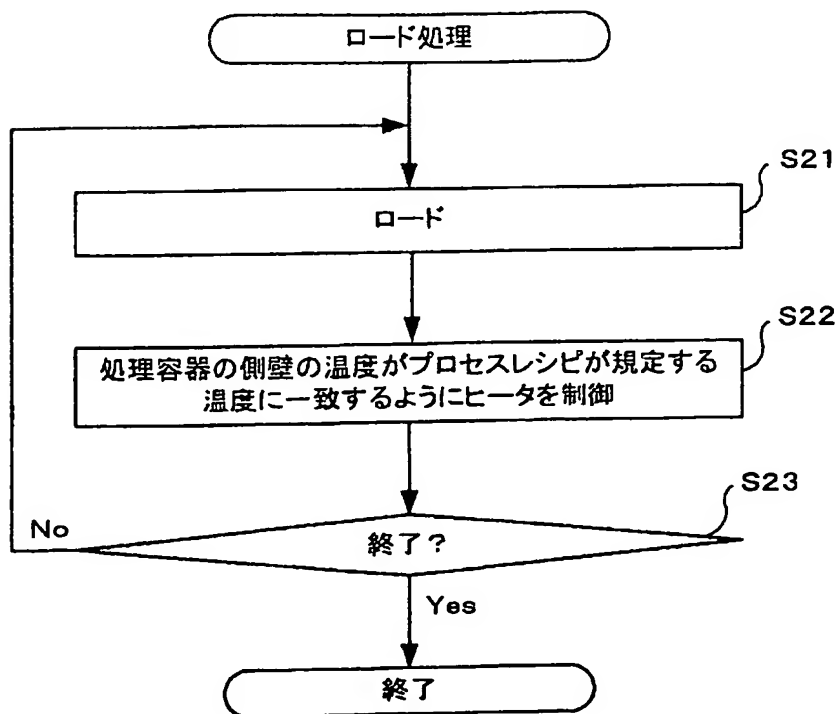
設定 (目標) 温度	実測温度					予想温度				
	TC1	TC2	....	TC9	S4	TP1	TP2	....	TP9	S4
500°C	490°C	480°C	....	490°C	480°C	500°C	500°C	....	500°C	500°C
600°C	587°C	570°C	....	590°C	585°C	600°C	600°C	....	600°C	600°C
.....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
1100°C	1090°C	1070°C	....	1090°C	1080°C	1100°C	1100°C	....	1100°C	1100°C

[図11]

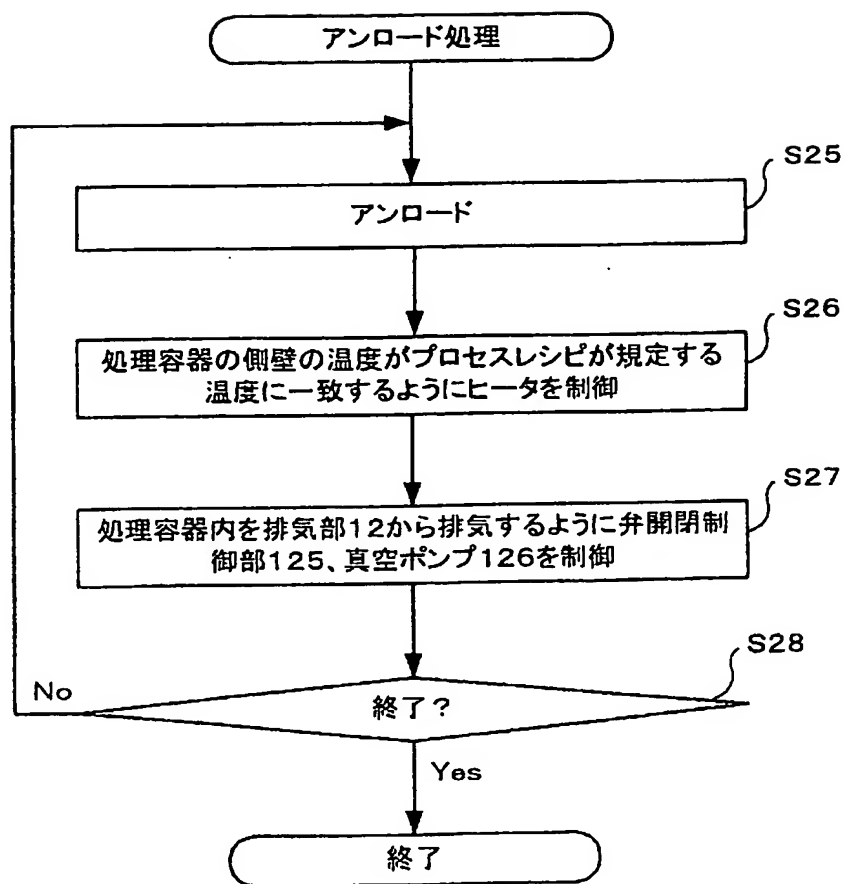
予想温度と実測温度の差



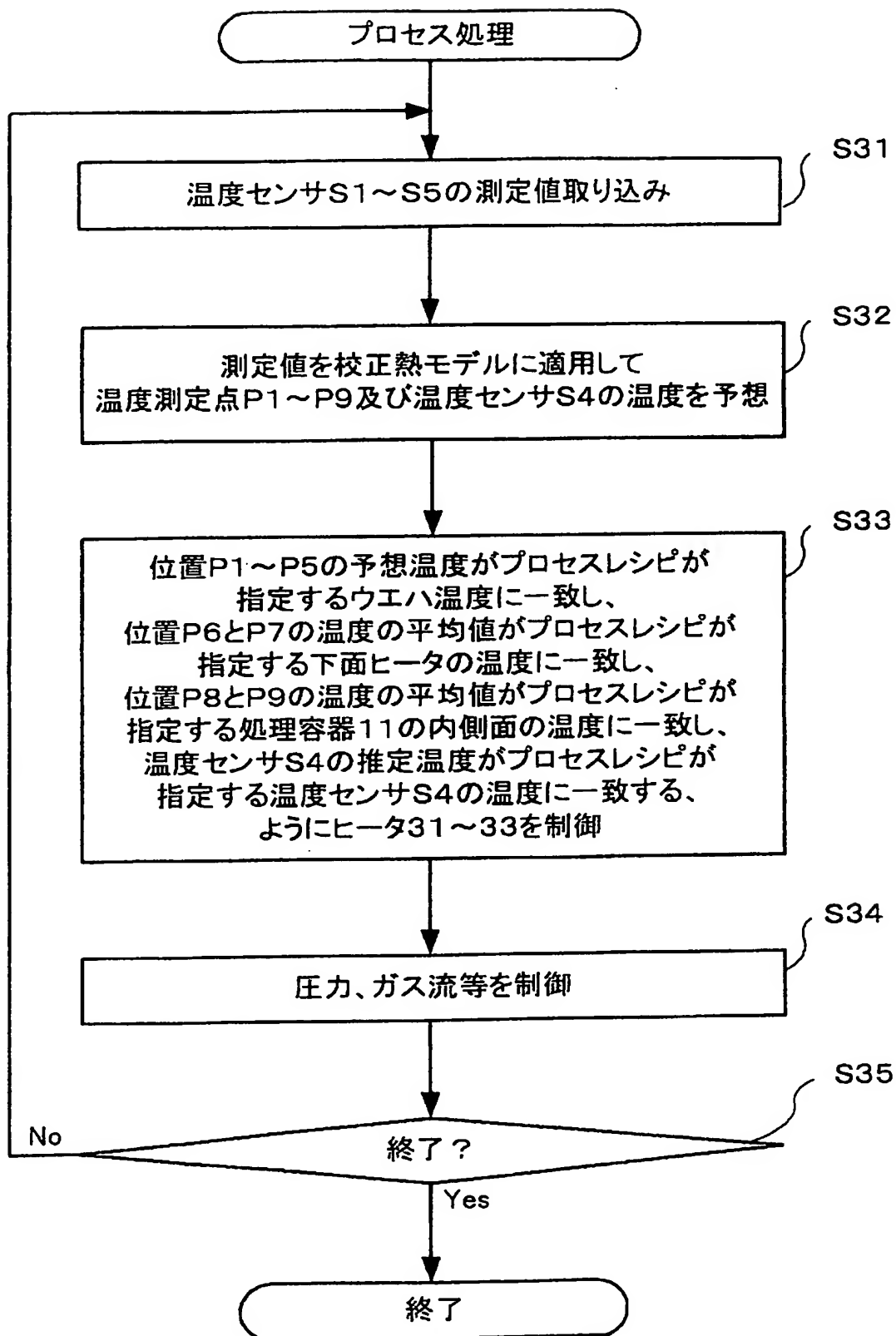
[図12A]



[図12B]



[図13]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016213

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/205, H01L21/31, H01L21/324, C23C16/44, H01L21/22,  
H01L21/223, H01L21/225, H01L21/228

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/205, H01L21/31, H01L21/324, C23C16/00-16/56, H01L21/22,  
H01L21/223, H01L21/225, H01L21/228

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A A E, A	JP 2002-091574 A (Tokyo Electron Ltd.), 29 March, 2002 (29.03.02), Full text & US 2002/0045146 A1 & EP 1189261 A2  JP 2002-043226 A (Tokyo Electron Ltd.), 08 February, 2002 (08.02.02), Full text (Family: none)  JP 2005-026397 A (Tokyo Electron Ltd.), 27 January, 2005 (27.01.05), Full text (Family: none)	1, 3, 8, 10, 12-14 9, 11, 15-19  2, 4  4-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
01 February, 2005 (01.02.05)

Date of mailing of the international search report  
15 February, 2005 (15.02.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl<sup>1</sup> H01L21/205, H01L21/31, H01L21/324, C23C16/44,  
H01L21/22, H01L21/223, H01L21/225, H01L21/228

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl<sup>1</sup> H01L21/205, H01L21/31, H01L21/324, C23C16/00-16/56,  
H01L21/22, H01L21/223, H01L21/225, H01L21/228

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2005年  
日本国登録実用新案公報 1994-2005年  
日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002-091574 A (東京エレクトロン株式会社) 2002.03.29, 全文, & US 2002/0045146 A1 & EP 1189261 A2	1, 3, 8, 10, 12-14
A		9, 11, 15-19
A	JP 2002-043226 A (東京エレクトロン株式会社) 2002.02.08, 全文, (ファミリーなし)	2, 4
EA	JP 2005-026397 A (東京エレクトロン株式会社) 2005.01.27, 全文, (ファミリーなし)	4-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.02.2005

国際調査報告の発送日

15.2.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区鍛冶が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

池淵 立

4R

8831

電話番号 03-3581-1101 内線 3469